

学校编码: 10384

分类号_____密级 _____

学 号: 200229006

UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

小波变换在 MEMS 降阶建模中的应用研究

On the Application of Wavelet Transform for
MEMS Model Order Reduction

张 玉 德

指导教师姓名: 孙 道 恒 教授

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2005 年 6 月

论文答辩日期: 2005 年 6 月

学位授予日期: 2005 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2005 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

系统级建模与仿真是微机械电子系统(MEMS)计算机辅助设计(CAD)最为关键的重要环节,是 MEMS 分析与设计的独特要求,也是 MEMSCAD 要实现的目标。其中,降阶建模是系统级建模与仿真的关键,目前还没有成熟的统一的方法用于 MEMS 降阶建模。本文尝试运用小波变换于 MEMS 降阶建模,探讨该方法的可行性。

本文主要的研究工作包括以下几个部分:

- 1、了解了 MEMS 系统级建模与仿真的背景,查阅文献并分析了国内外目前用于 MEMS 降阶建模的方法、发展现状及存在的问题。
- 2、开创性地运用小波变换对 MEMS 进行降阶建模,介绍了小波变换的理论基础,提出运用小波变换对 MEMS 进行多尺度降阶建模的基本思想和方法。
- 3、针对 MEMS 最常见的结构静力学问题,从虚位移原理出发,建立有限元求解方程,构造滤波器,给出了详细的多尺度降阶建模的方法和具体步骤,提取可控阶次的降阶模型,并从理论上加以验证;同时指出并分析了影响该降阶算法的几个相关因素,最后通过实例分析证明了该方法的有效性。
- 4、基于运用小波变换的 MEMS 多尺度降阶建模的思想,给出了对结构动力学模型进行多尺度降阶的一般方法,同时,也提出了一种基于小波正交算子的改进的模式综合法。
- 5、以 Visual C++ 6.0 为软件开发平台,结合 Matlab 现有的软件开发包,构建了应用程序,该程序可以实现系统降阶模型的自动提取。

关键词: 微机电系统; 小波变换; 降阶模型

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

System level modeling and simulation, which is the most critical part of MEMSCAD is not only the particular requirement for analyse and design but also the aim for MEMSCAD. Wherein, reduced order modeling is the key of system level modeling and simulation, but there is no uniform theory or method in reduced order modeling so far. In this paper, a novel method based on wavelet transform is applied to the reduced order modeling of MEMS to do some research on its feasibility. The main works are as follows:

- 1、Refer Literatures and analyze several current methods, the development state and problems of reduced order modeling of MEMS with the knowledge of the background of system level modeling and simulation of MEMS.
- 2、Theoretical principle with respect to wavelet transform is introduced, the basic idea for multiscale reduced order modeling of MEMS and fundamentals of algorithm are presented.
- 3、On the most common problem of structural statics for MEMS, Starting from principle of virtual displacement, firstly, build FEM equation, construct filters, give the method for multiscale reduced order modeling and specific process in detail, then obtain reduced order models with controllable dimension which is proved theoretically. Meanwhile point out and analyze several relevant factors which affect the reduced order modeling. Finally, Examples demonstrate the feasibility of this method.
- 4、On the basis of multiscale reduced order modeling of MEMS using wavelet transform, a general method of multiscale reduced order modeling of structural dynamical system for MEMS is introduced. Besides, a modified component mode synthesis based on wavelet operator is presented.

5、Program an application, under the Visual C++ 6.0 platform combining with existing MATLAB software package. This program can realize the automatic gaining of reduced order model from original one.

Key Words: MEMS; Wavelet transform; Reduced order model

厦门大学博士论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 本论文的背景及研究意义	3
1.2.1 MEMS 系统级建模与仿真的发展现状	3
1.2.2 目前用于 MEMS 降阶建模的方法、现状及存在的问题	4
1.3 本文的主要研究内容	5
第二章 小波及多尺度理论	7
2.1 小波理论产生的背景及其发展	7
2.2 小波变换	8
2.2.1 连续小波变换	8
2.2.2 离散小波变换	9
2.3 多尺度分析	10
2.3.1 尺度函数与尺度空间	10
2.3.2 多尺度分析概念	11
2.3.3 小波函数与小波空间	11
2.3.4 二尺度方程	12
2.4 正交小波变换的快速算法	13
2.5 本章小结	15
第三章 运用小波变换的 MEMS 降阶建模	16
3.1 结构力学问题与有限元方程	16
3.1.1 弹性力学的基本方程	16
3.1.2 虚位移原理	17
3.1.3 有限元方程	18

3.2 基于小波变换的 MEMS 降阶建模思想	19
3.2.1 MEMS 降阶建模	19
3.2.2 多尺度降阶建模的思想	20
3.3 静力学系统的多尺度降阶建模	21
3.3.1 多尺度降阶建模方法	22
3.3.2 正交滤波器的构造	26
3.3.3 影响降阶建模方法的相关因素研究	29
3.4 实例分析与讨论	34
3.4.1 降阶模型矩阵的特征变化及阈值的设定	35
3.4.2 降阶效果及分析评价	37
3.5 动力学系统的降阶建模	41
3.5.1 动力学系统的多尺度降阶建模方法	41
3.5.2 基于小波正交算子的改进的模式综合法	45
3.6 本章小结	46
第四章 应用程序设计与算法实现	47
4.1 应用程序总体框架	47
4.2 数据的获取	48
4.3 数据结构	51
4.4 VC++ 集成环境中 MATLAB C++ 数学函数库应用程序的建立	53
4.5 算法实现	53
4.5.1 滤波器的构造	54
4.5.2 降阶模型的提取与计算	55
4.6 结果的显示处理	57
4.7 本章小结	59
第五章 总结和展望	60
5.1 总结	60

5.2 展望.....	61
参考文献	62
致 谢	65

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士论文摘要库

Table of contents

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Introduction.....	1
1.2	Background and purpose of the thesis	3
1.2.1	Development state of system level modeling and simulation of MEMS	3
1.2.2	Methods, development state and problems of reduced order modeling of MEMS	4
1.3	Main research scope.....	5
Chapter 2	Wavelet and multiscale analysis theory.....	7
2.1	Background and development of wavelet theory.....	7
2.2	Wavelet transform	8
2.2.1	Continuous wavelet transform	8
2.2.2	Discrete wavelet transform	9
2.3	Multiscale analysis.....	10
2.3.1	Scaling function and scaling space	10
2.3.2	Conception of multiscale analysis.....	11
2.3.3	Wavelet function and wavelet space	11
2.3.4	Dilation and wavelet equation	12
2.4	Fast algorithms of orthogonal wavelet transform	13
2.5	Conclusion	15
Chapter 3	Reduced order modeling of MEMS using wavelet transform	16
3.1	Structural mechanics problem and FEM equations	16
3.1.1	Basic equations of elastic mechanics	16
3.1.2	Principle of virtual displacement	17
3.1.3	FEM equation.....	18

3.2 Basic idea for reduced order modeling of MEMS based on wavelet transform.....	19
3.2.1 Reduced order modeling of MEMS	19
3.2.2 Basic idea for multiscale reduced order modeling.....	20
3.3 Reduced order modeling of structural statics system	21
3.3.1 Method of multiscale reduced order modeling	22
3.3.2 Construction of filters	26
3.3.3 Research on several relevant factors.....	29
3.4 Experimental result analysis and discussion.....	34
3.4.1 Characteristic variety of matrix for reduced order model and selection of threshold value.....	35
3.4.2 Result analysis and discussion	37
3.5 Reduced order modeling of structural dynamical system.....	41
3.5.1 Method of multiscale reduced order modeling	41
3.5.2 Modified component mode synthesis based on wavelet operator.....	45
3.6 Conclusion	46
Chapter 4 Application program and algorithms realization...	47
4.1 Whole frame of program.....	47
4.2 Gaining of data.....	48
4.3 Data structure	51
4.4 Construction for platform of application program.....	53
4.5 Algorithms realization.....	53
4.5.1 Construction of filters	54
4.5.2 Gaining of reduced order model and calculation.....	55
4.6 Result Display	57
4.7 Conclusion	59
Chapter 5 Summary and prospect	60
5.1 Summary	60
5.2 Prospect.....	61

References.....	62
Acknowledgement.....	65

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 引言

微机械电子系统（Microelectromechanical Systems, MEMS），也称为微系统，是以批量化的微电子技术为基础，制造出包括机械、光学、流体输运机构以及其它功能组件的各种微光机电器件，并使之与集成电路集成在一起，组成一个可以完成信息获取、处理及执行功能的微系统^[1]。显然，微系统是集成化和微型化的极微小器件，不但体积小、重量轻、功能强、精确性和可靠性高，而且功耗和价格都是很低的。

正是由于 MEMS 器件和系统具有体积小、重量轻、功耗低、可靠性高、性能优异及功能强大等传统传感器无法比拟的优点，MEMS 在航空、航天、汽车、信息通讯、生物医学、环境监控、军事以及几乎人们接触到的所有领域中都有着十分广阔的应用前景^[2]。如在医学上，微机械可游弋于人体血管，去清除血栓或其它病理组织；在工程上，可以进入精密机械或仪器内部进行故障检修或其它操作等。微惯性传感器及其组成的微型惯性测量组合能应用于制导、卫星控制、汽车自动驾驶、汽车防撞气囊、稳定控制与玩具；微流量系统和微分析仪可用于微推进、伤员救护；同时 MEMS 系统还可以用于医疗、高密度存储和显示、光谱分析、信息采集等等。现在已经成功地制造出了尖端直径为 5 微米的可以夹起一个红细胞的微型镊子，可以在磁场中飞行的像蝴蝶大小的飞机等。

基于 MEMS 的重要性，美、欧、日等发达国家都高度重视发展该技术，把 MEMS 的研究列为影响未来世界的关键技术，并以较大的投入进行 MEMS 的研究与开发，以争夺 21 世纪的高新技术市场^[3]。1989 年美国把 MEMS 确定为急需发展的高新技术，并资助麻省理工学院建立先进的微电

子和微机械加工实验室,以加速 MEMS 的研究和开发工作。从 1997 年到 2001 年,仅美国 DARPA (美国国防部先进研究计划署) 每年投入的研究经费就达 7000 万美元,美国国家科学基金从 1998 年起每年投入大约 200~300 万美元用于 MEMS 的研究。日本和德国更重视推进 MEMS 加工技术的研究。日本通产省自 1991 年开始实施为期 10 年,总投资 250 亿日元的“微型机械技术”大型研究开发计划。欧洲各国也对 MEMS 高度重视,如德国从 1994 年到 1999 年每年投资 6000 万美元于微系统技术研究;欧盟则从 1993 年起将各国研究机构组织起来进行 MEMS 的联合研究,推出了 EURO PRACTICE 和 NEXUS 计划,从科研和产业化两方面推进 MEMS 的发展。

MEMS 以其独特的优点已经引起各国的极大关注。然而,尽管期望到 2000 年微器件的年市场额可达到 1000~1400 万美元,但是,该市场仍然由少数器件占有,不能形成规模。美国、日本、欧洲等国家的学者已经认识到, MEMS 成功地占领市场,在很大程度上取决于如何有效地运用计算机辅助设计 (CAD) 方法。计算机的引入使得设计、运行性能分析的高速化、自动化和可视化、加工工艺的参数化控制,缩短设计、制作周期,提高制作过程的可重复性,从而大大提高 MEMS 器件的性能—价格比。国外从 1980 年代开始,就已经开展了有关微机电系统 CAD 技术的研究工作。比较有代表性的工作包括麻省理工学院的 MEMSCAD、IntelliSense 公司的 IntelliCAD、密歇根大学的 CAEMEMS、Tanner 的 L-Edit Pro 等等。另外,一些商用软件也开始涉及微机电系统 CAD,如 ANSYS 等。这些软件能够对微系统的某些功能模块、典型器件或加工工艺进行计算机模拟与设计,但总的来说还没有达到实用化的水平。

实现集设计、加工及运行等整个过程的计算机仿真为一体的 CAD 技术是 MEMS 真正走向商业化的重要基础。目前,微型机电系统的制造主要采用硅加工工艺,尺寸越来越小,集成度越来越高。影响其性能的因素很多,

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库